DOI: 10.5846/stxb201607191470
韩瑞丹,张丽,郑艺,王恒,张静.曼谷城市扩张生态环境效应.生态学报,2017,37(19):6322-6334.
Han R D, Zhang L, Zheng Y, Wang H, Zhang J.Urban expansion and its ecological environmental effects in Bangkok, Thailand.Acta Ecologica Sinica, 2017,37(19):6322-6334.

曼谷城市扩张生态环境效应

韩瑞丹[1,2],张 丽[2,3,*],郑 艺[3],王 恒[3],张 静[3]
1 山东农业大学信息科学与工程学院, 泰安 271018
2 海南省地球观测重点实验室, 三亚 572029
3 中国科学院遥感与数字地球研究所数字地球重点实验室, 北京 100094

摘要:利用 1990、2000、2010 和 2015 年 4 期 Landsat 数据和 2000—2015 年的 MODIS NDVI 数据,开展了泰国曼谷地区近 25 年来城市扩张分析,包括城市建设用地扩张时空变化和扩张模式分析、扩张的生态环境效应分析以及扩张驱动力分析。结果表明:(1)自 1990 年以来,曼谷城市建设用地面积持续增长,经历了先快后慢再快的增长过程。城市扩张主要沿东北方向,且在距离城市中心 14—20km 的范围内扩张最为明显,扩张模式以边缘式和填充式为主。(2)在城市化进程中,植被和热岛对城市扩张分别有不同的响应。植被绿度整体呈下降趋势,下降明显的地区位于距城市中心 10—20km 的范围内,即城市建设用地明显扩张的区域。热岛分布与城市建成区分布具有空间一致性,自 1990s 以来,热岛效应整体增强,但局部变异越来越不明显。(3)曼谷城市扩张受到自然地理条件、社会经济、城市布局等多重因素的影响。

关键词:城市扩张;植被;热岛;驱动因素

Urban expansion and its ecological environmental effects in Bangkok, Thailand

HAN Ruidan[1,2], ZHANG Li[2,3,*], ZHENG Yi[3], WANG Heng[3], ZHANG Jing[3]
1 *College of Information Science and Engineering of Shandong Agricultural University*, *Tai'an* 271018, *China*
2 *Hainan Key Laboratory of Earth Observation*, *Sanya* 572029, *China*
3 *Key Laboratory of Digital Earth Science*, *Institute of Remote Sensing and Digital Earth*, *Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100094, *China*

Abstract: On the basis of Landsat images acquired in 1990, 2000, 2010, and 2015 and MODIS NDVI datasets acquired from 2010 to 2015, we analyzed urban expansion in Bangkok, including the spatio-temporal characteristics of built-up land, ecological-environmental effects (including vegetation greenness and land surface temperature), and the main driving factors of urban expansion. The results showed that (1) the built-up land areas in Bangkok has expanded continuously since 1990, showing a rapid-slow-rapid change trajectory. Urban expansion occurred mainly in the northeast direction and within the range of 14—20 km from the city center. The expansion patterns followed infilling pattern and edge-expansion pattern. (2) Urbanization affected vegetation greenness and heat island. Vegetation greenness declined overall, and a significantly decreased area was in the range of 10—20 km from the city center, which was in accordance with the main urban expansion area. Similarly, the spatial distribution of the heat island was coincident with urban expansion. The heat island increased overall, although local variations were less obvious. (3) Geographical conditions, social economy, and city layout were the main driving factors in urban expansion.

Key Words: urban expansion; vegetation greenness; heat island; driving factors

基金项目:海南省科技合作专项资金项目(KJHZ2015-14);海南省重大科技计划项目(ZDKJ2016021)
收稿日期:2016-07-19; **网络出版日期:**2017-05-27
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: zhangli@radi.ac.cn

20 世纪以来,世界城市化进入全面发展阶段。伴随着经济建设的快速发展,城市人口持续增长,城市建筑群规模不断扩大,城市气候、环境问题日益突出。相比于内陆城市,港口城市因其便捷的交通条件发展更加迅速。港城分布在生态环境脆弱的海岸带区域,其扩张给海岸带和城市内部生态环境带来沉重负担。认识港口城市发展特征、港口城市土地资源和生态环境状况,厘清港口城市扩张对海岸带陆地生态环境的影响,对于探究人类社会经济活动对海岸带生态环境影响、制定合理港口城市发展及海岸带生态环境保护方案具有重要意义。

城市化的快速推进改变下垫面的物质组成和特性,影响地表生态要素的生理生态状况、结构组成、空间格局等,对资源消耗和生态环境质量等产生重大影响。目前,研究者多以各国首都城市、一线城市、重要经济圈等为研究区[1-2],以 Landsat、SPOT、HJ、航空影像、MODIS 等为遥感数据源[3],集中于研究城市土地利用/覆被变化及驱动力[4]、城市扩张形态和模式[5]、城市扩张模拟预测等。对于城市扩张的生态影响研究,多集中于城市植被变化[6-7]、热岛效应[8]、大气污染[9]、水体污染[10]、土壤碳循环[11-12]、城市内涝等。在港口城市扩张生态环境效应研究方面,大多学者沿用内陆城市的研究方法,集中在对城市土地利用结构时空变化、空气污染、能源消耗等方面,也有学者对沿岸近海区的生态环境展开研究,如岸线变迁、岸堤侵蚀、围海造田等。植被作为陆地生态系统的主体,对于地表环境、气候变化具有强烈的敏感性,而城市热岛是城市生态环境失调引起的最显著的城市环境问题之一,因此,城市植被变化和城市热岛问题是所有城市化生态环境效应研究的两大热点。

曼谷是泰国首都和中南半岛最大的城市,同时又是"21 世纪海上丝绸之路"建设的重要节点港口城市。20 世纪 50 年代,随着工业的迅速发展,曼谷经济有所提高,城市化逐渐兴起。1990 年至今的这段时间是曼谷城市发展的重要阶段[13]。曼谷城市容纳着泰国一半以上的城市人口,城市首位度畸高、虚假城市化的现象世界罕见[14]。截止到 2015 年,曼谷城市人口达到 927.0 万人,相比于 1990 年增长了约 57%,且预测至 2030 年将达到 1152.8 万人[15]。人口的快速城市化引起了土地的城市化,从而导致曼谷城市绿地减少、地表温度升高、空气污染、水污染等一系列生态问题突出[16]。在中国,已有众多学者对国内港口城市(如大连、天津、江苏、上海、福州、广州等)展开了城市扩张及生态环境影响等方面的研究[17],然而在泰国曼谷,这方面的研究却相对较少。为了全面了解曼谷快速城市化过程中城市建设用地扩张情况和城市扩张对城市环境的影响情况,本文利用多时相 Landsat 和 MODIS 遥感数据,开展曼谷港口城市土地覆盖/利用类型变化监测和城市建设用地变化监测,探讨城市化过程中植被和近地表温度多环境要素的时空变化规律,分析城市化的驱动因素。本研究从泰国城市扩张规律、模式和城市化对植被、热岛的影响着手,探究曼谷城市发展的合理性,以期为我国城市规划和发展、城市生态文明建设提供借鉴或参考。

1　研究区与研究方法

1.1　研究区概况

曼谷是泰国唯一的府级直辖市,位于湄南河下游,南部濒临泰国湾,面向太平洋,介于 13°29′—13°58′N、100°19′—100°57′E 之间,是泰国首都和中南半岛最大城市,也是全球最受欢迎的旅游城市之一,具有"天使之城"的美誉。该地区地势平坦,气候湿热,属于热带季风气候,盛行西南风,年平均气温为 27.5℃,年降水量约为 1500mm。曼谷既是中国-东南半岛经济走廊的重要节点城市,同时又拥有海上丝绸之路的重要港口——曼谷港。曼谷港属于河港,位于湄南河下游东岸,距离河口约 25.75km。

18 世纪末 19 世纪初,为了发展对外贸易,泰国将首都迁至曼谷,曼谷港口随之发展起来。泰国经济属外向型经济,对外贸易在国民经济中占据重要地位,而曼谷港作为泰国最大的港口,承担着泰国 90% 的外贸活动,对曼谷城市乃至泰国发展具有主导作用,同时也是中国连通东南亚和南太平洋的重要交通枢纽。

1.2　数据与方法

1.2.1　城市建设用地信息提取

为提取曼谷城市建设用地专题信息、监测研究区土地利用/覆盖类型变化情况,本文选取 1990、2000、

2010、2015 年 4 个时期的 Landsat5 TM 和 Landsat8 OLI 数据,经过几何校正、配准、镶嵌、裁剪等预处理,采用最大似然监督分类法对研究区的土地类型按照建设用地、绿地、水体、裸地 4 种地类进行分类,以提取城市建设用地专题信息。通过生成随机点与 Google Earth 影像对比验证,4 个时期的总体分类精度均在 80%以上。

1.2.2 城市建设用地扩张分析

基于以上获取的 4 期城市建设用地专题信息数据,以 2015 年的建设用地重心为原点,分别采用象限方位法和缓冲带分析法将研究区分为 4 个象限和 20 个 2km 间隔的圆形缓冲区,引入建设用地比重、扩张强度指数(AI)和年均增长率指数(AGR)定量分析各象限和各缓冲区内的城市建设用地空间分布特征和时空变化特征。其中建设用地比重等于一定范围内建设用地面积占区域土地总面积的比例,AI 用来对比不同时期同一地区城市建设用地扩张的强度,AGR 用来对比不同地区同一时间城市建设用地的扩张速率,其计算公式分别如下:

$$AI = \frac{A_{\text{end}} - A_{\text{star}}}{d} \quad (1)$$

$$\text{AGR} = 100\% \times \left[\left(\frac{A_{\text{end}}}{A_{\text{star}}}\right)^{\frac{1}{d}} - 1\right] \quad (2)$$

式中,A_{star}、A_{end} 分别为研究单元初期、末期的建设用地面积,d 为时间间隔。

景观扩张指数(LEI)可定量识别城市空间扩张的类型,本研究采用 LEI 表示城市新增建设用地斑块的类型,该指数基于新增建设用地斑块生成的缓冲区进行定义[18]:

$$\text{LEI} = 100 \times \frac{S_0}{S_0 + S_v} \quad (3)$$

式中,LEI 取值范围是[0—100],S_0 为新增建设用地斑块生成的 30m 缓冲区内原有建设用地斑块面积,S_v 为缓冲区内除去原有建成区斑块剩余的面积。本研究将 LEI=0 的斑块定义为飞地式,即新增建设用地斑块与原有建设用地斑块分离;将 LEI∈(0,50)的斑块定义为边缘式,即新增建设用地斑块沿原有建设用地斑块的边缘扩展;将 LEI∈[50,100]的斑块定义为填充式,即新增建设用地斑块填充在原有建设用地斑块内部[19]。

1.2.3 城市扩张生态环境效应分析

(1)植被时空变化监测

本研究选取归一化植被指数(NDVI)表征绿地植被的生长状况和动态变化。NDVI 数据来自美国航空航天局(NASA)提供的 16d 最大值合成植被指数产品 MOD13Q1,该数据空间分辨率为 250m,时相选取包括 2000—2015 年逐期数据。首先将每年 16d 的 NDVI 数据进行最大值合成,得到逐年 NDVI 年最大值,然后利用一元线性回归方程分析植被变化趋势:

$$\theta_{\text{slope}} = \frac{n \times \sum_{i=1}^{n} (i \times M_{\text{NDVI}}) - \sum_{i=1}^{n} i \sum_{i=1}^{n} M_{\text{NDVI}}}{n \times \sum_{i=1}^{n} i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} i\right)^2} \quad (4)$$

式中,n 为监测时间序列的长度,M_{NDVI}为第 i 年 NDVI 的最大值;θ_{slope} 为像元 NDVI 的回归斜率值。当 $\theta_{\text{slope}} > 0$ 时,该区域的植被呈增长或改善趋势,反之呈减少或退化趋势,当 $\theta_{\text{slope}} = 0$ 时,说明该区域 NDVI 没有变化。

在植被变化趋势分析的基础上,本文利用缓冲分析法研究植被沿城乡梯度的过度特征。即以 2015 年建设用地重心为圆心,建立 20 个以 2km 为间隔的圆形缓冲区,统计分析各环形缓冲区内 NDVI 的平均变化趋势。

(2)热岛效应监测

基于 Landsat 热红外影像,本文采用覃志豪的单窗口算法[20-22]反演地表温度(LST)。数据预处理包括辐射定标、大气校正、几何校正、配准、重采样等。基于单窗口算法反演地表温度的主要步骤包括:(1)亮温计算;(2)地表比辐射率计算;(3)近地表温度和大气参数计算;(4)地表真实温度反演。

基于 Landsat 反演得到的地表温度数据,引入城市热力场变异指数(TFVI)定量分析热岛效应。TFVI 定义为某点 LST 与研究区域平均 LST 的差值与研究区域平均 LST 之比[23],计算公式如下:

$$TFVI = \frac{T - T_{MEAN}}{T_{MEAN}} \qquad (5)$$

式中,TFVI 为城市热力场变异指数;T 为城市某点的 LST,T_{MEAN} 为城市研究区域的平均 LST。为了直观地描述城市热场变化,本文采用阈值法先将城市热力场分为非热岛(TFVI≤0)和热岛(TFVI>0),又将热岛细分为弱热岛(TFVI∈(0,0.15])、强热岛(TFVI∈(0.15,0.3])和极强热岛(TFVI>0.3),做出城市热岛效应分级示意图。为了方便城市热岛效应的比较,引入城市热岛比例指数来表征城市热岛的影响程度,城市热岛比例指数为城市热岛面积与研究区面积的比值,其值越大,说明热岛效应越严重。

2　结果与分析

2.1　城市建设用地时空变化及扩张模式分析

2.1.1　时空变化分析

对 4 个时期的城市建设用地影像进行叠加,从不同时相建设用地空间分布情况(图 1,表 1)看,曼谷 25 年间建设用地发生了很大变化,扩张现象十分明显。从 1990—2015 年曼谷城市建设用地面积持续增长,面积比例从 25.96%增长至 52.39%,增长了 1 倍多。就年均扩张程度 *AI* 来说,1990—2000 年的 *AI* 为 18.84km^2,2000—2010 年的 *AI* 为 13.26 km^2,2010—2015 年的 *AI* 为 18.62 km^2,即在 1990—2000 年间城市扩张强度最大,其次为 2010—2015 年,而 2000—2010 年扩张程度相比其他两个阶段较弱,即自 1990 年至 2015 年以来,曼谷城市扩张呈现先快后慢而后又增快的特点。

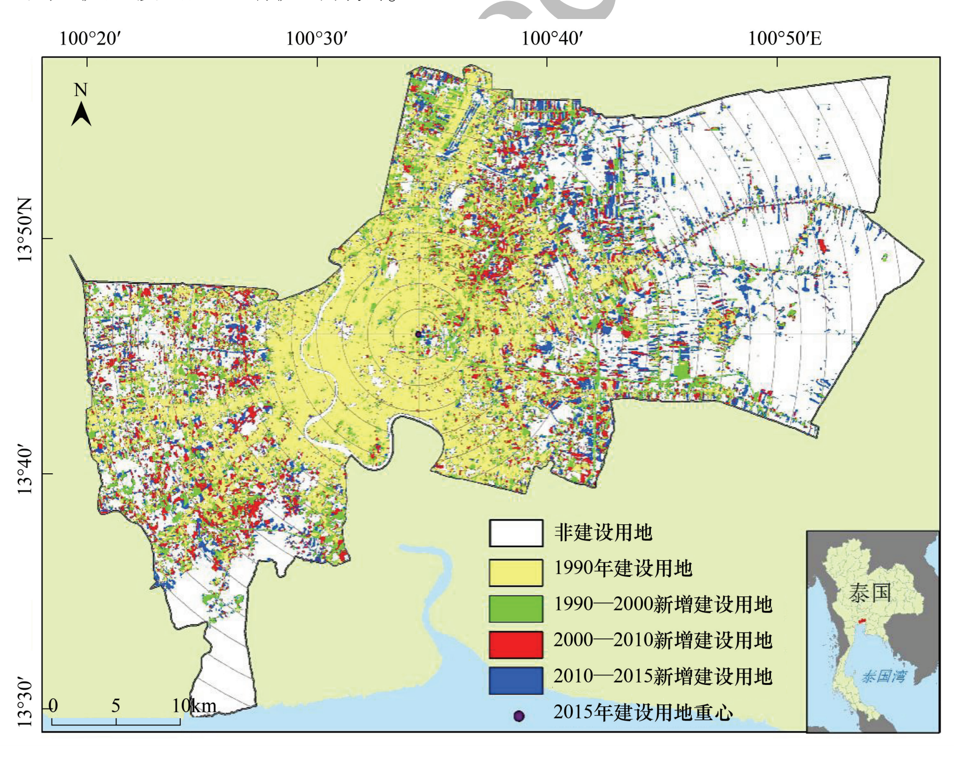


图 1　曼谷 1990—2015 年建设用地时空变化

Fig.1　Spatio-temporal changes of built-up land in 1990, 2000, 2010 and 2015 in Bangkok

结合 4 个象限建设用地面积、比重、年均扩张程度 *AI* 和年均扩张速率 AGR,曼谷建设用地主要分布在第一、三象限,即东北和西南方向,但建设用地比重最大的地方位于第二、三象限,即西部地区(图 2)。从建设用地的年均扩张强度 *AI* 和年均增长率 AGR 来看,各象限的城市建设用地均在扩张,但存在明显的时空异质性。

1990—2000 年各象限的年均扩张速率 AGR 均明显大于 2000—2010 和 2010—2015 两个阶段,可见曼谷于 20 世纪末经历了快速的城市化进程;3 个时间段内的 *AI*、ARG 均在第一象限为最大值,第二象限为最小值,说明曼谷城市建成区主要沿东北地区扩展,而沿西北方向扩张相对不明显(图 3)。

表 1 曼谷不同时期建设用地面积、比重和扩张强度指数 *AI*

Table 1 Built-up land areas, proportion and Annual Increase (*AI*) in 1990, 2000, 2010 and 2015 in Bangkok

城市扩张指标 Urban expansion indicators	1990	2000	2010	2015
建成区面积 Built-up land areas/km^2	406.12	556.80	689.39	819.71
建成区比重 Built-up land areas proportion/%	25.96	35.59	44.06	52.39
扩张强度 Annual Increase/(km^2/a)	18.84	13.26	18.62	

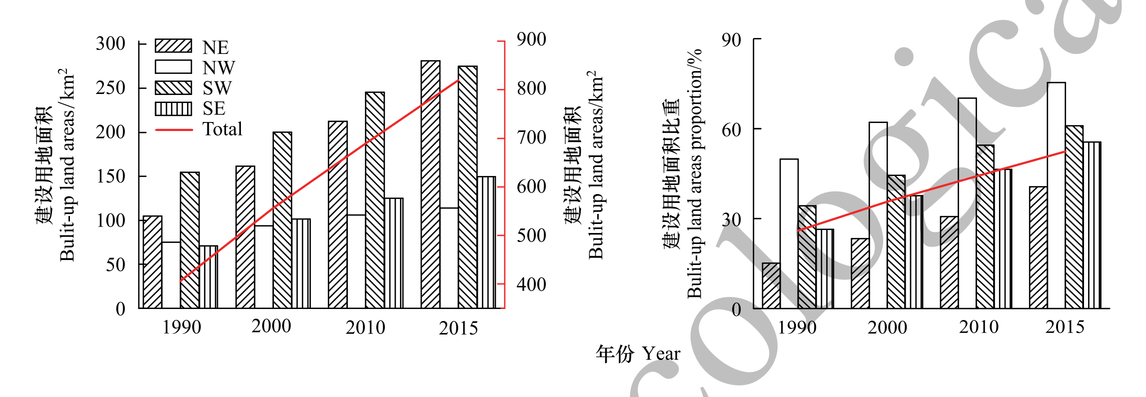


图 2 各象限建设用地面积和建设用地面积比重

Fig.2 Urban built-up land areas and built-up land areas proportion in four sectors

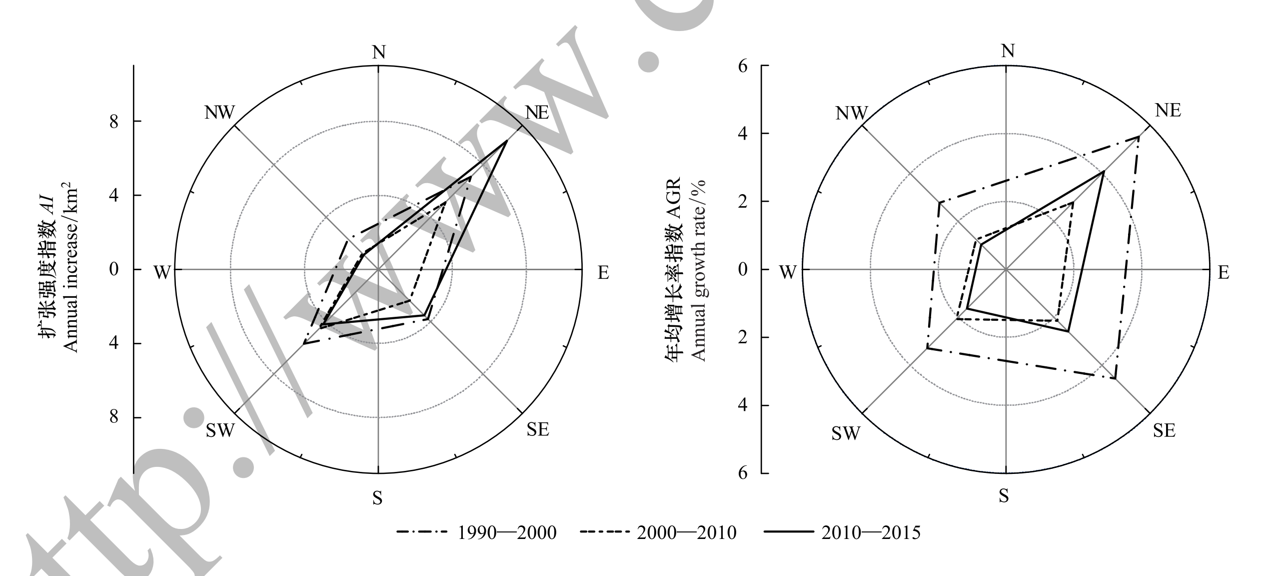


图 3 各象限建设用地扩张强度 *AI* 和年均扩张速率 AGR

Fig.3 Annual increase and annual growth rate of built-up land areas in four sectors

从缓冲区分析结果(图 4)上看,城市建成区比重随着距城市中心距离变远而变小。自 2010 年起,在距离城市中心 10km 以内的地区,建成区比重达到 80%以上。由于城市中心 2km 范围内存在公园绿地,所以城市中心的建成区比重并未达到最大值,而是在距离城市中心 2—4km 的范围达到最大(图 4)。从空间上看,城市扩张集中在距离城市中心 10—26km 的地方,其中 14—20km 处城市扩张最为显著。从时间上看,在距离市中心 12km 以内的地区, $AI_{2010—2015} < AI_{2000—2010} < AI_{1990—2000}$,说明在城市中心地区建成区扩张程度正在降低。而对比 1990—2000 和 2010—2015 的 *AI* 峰值对应的位置,发现城市扩张正向城市外缘发展(图 4)。此外,城市年

均扩张速率 AGR 随着距城市中心距离变远而增大,说明城市建成区扩张在向外缘发展。在远离城市中心 30km 以外的地方,AGR 的值远大于距离市中心 30km 以内的值,且 $AI_{2010—2015}$ 远大于 $AI_{2000—2010}$ 和 $AI_{1990—2000}$(图 4),表明未来在距离城市中心 30km 以外的地方,城市扩张强度或将增大。

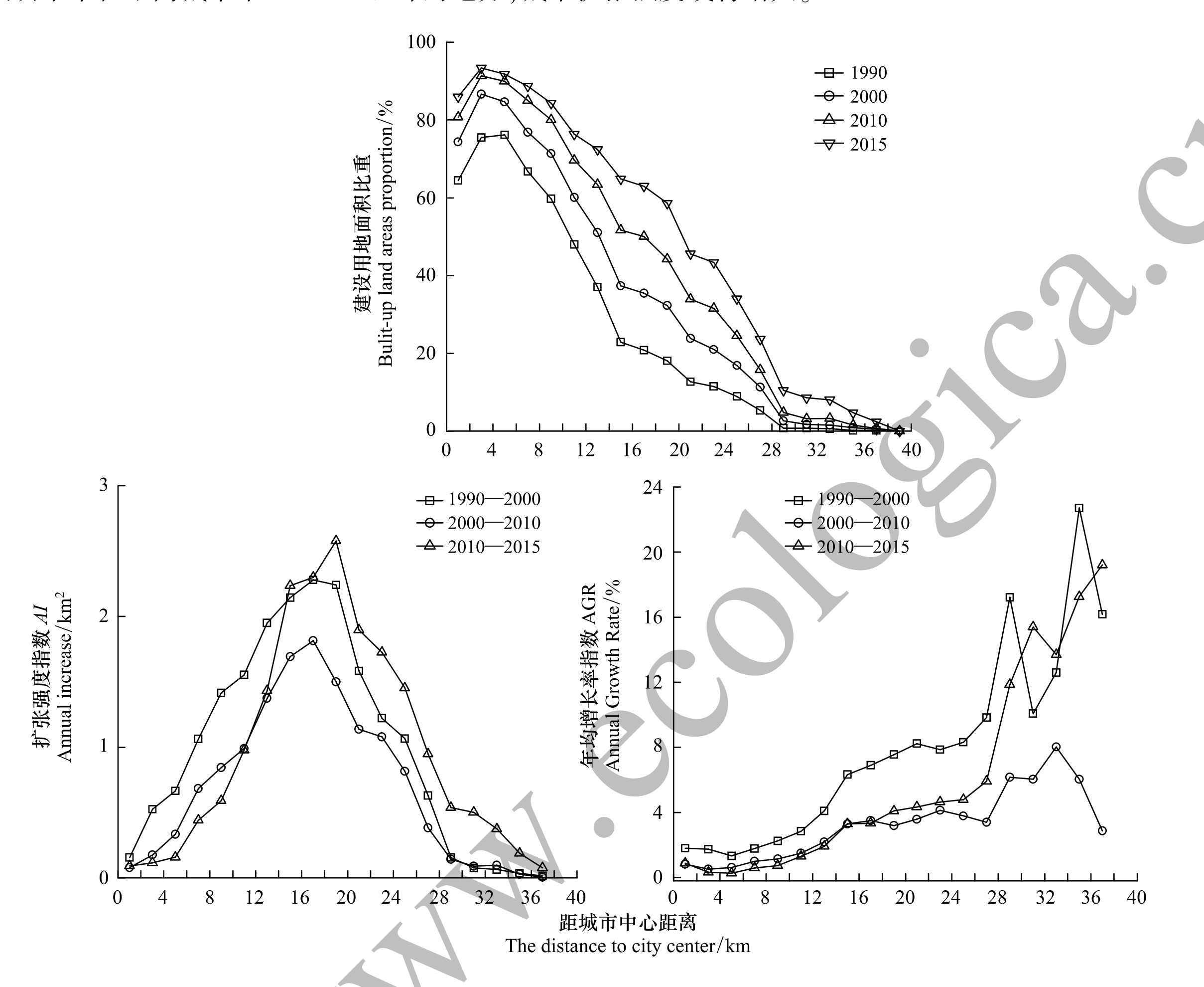


图 4　城市建设用地沿城乡梯度变化特征

Fig.4　Spatio-temporal change characteristics of urban built-up land areas along urban-rural gradient

2.1.2　扩张模式分析

从城市扩张模式统计结果上看,3 个时段的城市扩张模式均以边缘式和填充式为主(图 5)。填充式的扩张模式主要分布在近城市地区,大约在距城市中心 12km 以内的地方;而边缘式的扩张模式分布在距离城市中心较远的地方。对比 3 个时期填充式扩张模式峰值出现的位置,发现其明显向城市外边缘移动,且在 2010—2015 年,填充式扩张模式在距离城市中心 14—20km 的地方明显增多(图 5)。随着城市扩张进程的推进,填充式的扩张模式无论在斑块数量或在面积上均呈现增长趋势,而边缘式的扩张模式则呈现下降趋势(表 2),说明城市建设用地的聚集度正在提高。

以填充式为主的城市扩张模式有利也有弊。其一方面可以提高土地利用强度,避免土地资源浪费,另一方面却会加大城市内部的压力,如开放空间不足、交通堵塞、环境污染等。Estoque[13] 对曼谷大都会(包括本文的曼谷及其周边地区)1988—2009 年的城市扩张研究结果显示,曼谷大都会的城市扩张以边缘式为主导,而本文的曼谷城市扩张以边缘式和填充式为主。这充分说明,以填充式为主的扩张模式主要存在于曼谷内部。结合曼谷交通拥挤、环境污染等典型的“城市病”问题,这种扩张模式势必会吸引更多人向城市内部拥挤,从而加大“城市病”的病况,对于缓解曼谷首位度过高的现象十分不利。因此,如何在充分利用城市土地和缓解城市内部压力之间寻求平衡点,应成为曼谷城市规划需考虑的问题。

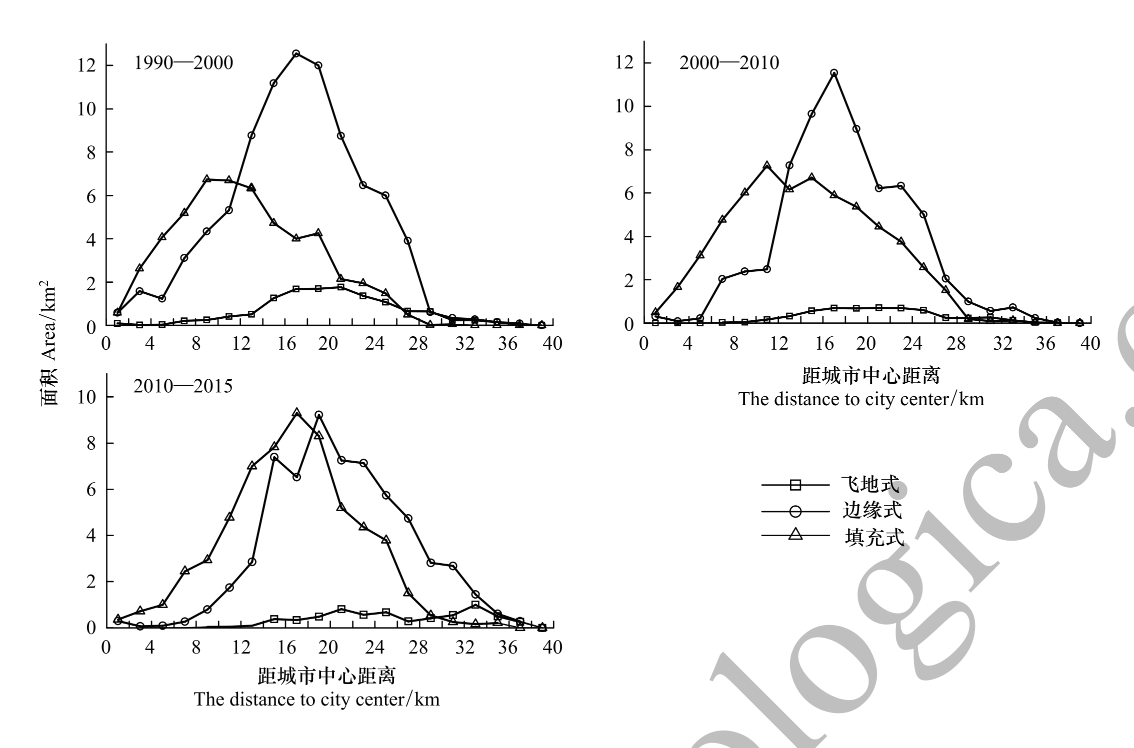


图 5 基于缓冲区的三种扩张模式面积统计

Fig.5 Areas of three expansion patterns based on buffer zones

表 2 3 种扩张模式斑块数量比例和面积比例/%

Table 2 The number patches and areas of three expansion patterns

扩张模式 Expansion pattern	1990—2000		2000—2010		2010—2015	
	斑块数量比例 Proportion of patch number	斑块面积比例 Proportion of patch area	斑块数量比例 Proportion of patch number	斑块面积比例 Proportion of patch area	斑块数量比例 Proportion of patch number	斑块面积比例 Proportion of patch area
填充式 Infilling	47.38	34.03	53.91	45.35	61.74	47.00
边缘式 Edge-expansion	37.28	57.87	36.75	50.56	32.53	47.95
飞地式 Outlying	15.34	8.10	9.34	4.09	5.73	5.05

斑块数量比例指各种扩张模式类型的斑块数量占新增斑块总数量的比例;斑块面积比例指各种扩张模式类型的斑块面积占新增斑块总面积的比例

从本研究和 Estoque 的研究结果的来看,无论是曼谷或大曼谷,其城市新增建设用地斑块都是沿旧城区逐渐向外扩张,可见曼谷的城市发展仍属于由中心向外蔓延的“摊大饼式”扩张模式。中国上海港之于中国的地位与曼谷港之于泰国的地位相当,上海城市扩张与曼谷城市扩张存在诸多相似之处。两个城市地势均比较平坦,城市边缘的土地类型均以农田为主,城市扩张均沿背离海岸带的方向发展。但不同的是,上海城市发展呈“卫星城”式发展,这种发展模式可有效缓解城市中心压力,同时带动周边地区共同发展[24]。而对于曼谷来说,其城市首位度畸高,周边地区发展落后,区域经济水平差异十分明显。在这一点上,曼谷或可借鉴上海“卫星城”式的发展模式,或在落后地区创建新的城市中心,以分散城市人口、工业过分集中的状况,从而缓解曼谷城市中心的交通压力、环境压力、人口压力,同时带动曼谷周边区域的共同发展[14]。

2.2 城市扩张生态环境效应分析

2.2.1 城市扩张对植被绿度的影响

从 NDVI 变化趋势图(图 6)中统计得到,自 2000—2015 年 NDVI 显著降低($P \leqslant 0.05$)的面积占曼谷全区总面积的 22.59%,NDVI 显著增加($P \leqslant 0.05$)的面积占曼谷全区总面积的 11.56%。从 NDVI 变化趋势缓冲分析结果上看(图 7),植被 NDVI 呈下降趋势的地区主要分布在距离城市中心 24km 以内的地方,呈增长趋势的地区主要分布在距离城市中心 24km 以外的地方。在距离城市中心 10—20km 的范围内,植被绿度下降最为

显著,且与 *AI* 具有显著的负相关关系,可说明,在近城市中心 24km 以内的地区,城市扩张是导致植被 NDVI 降低的主要因素。而在距离城市中心 24km 以外的地方,NDVI 变化趋势与 *AI* 无明显关系,说明远离城市中心的植被还未受到城市扩张的影响。

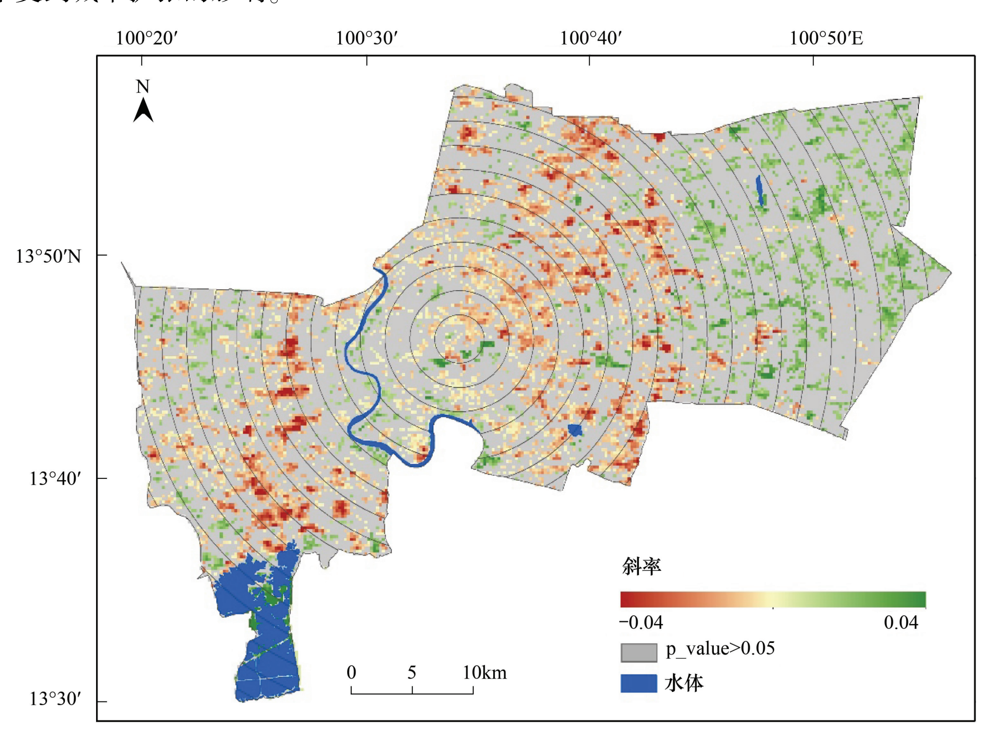


图 6　曼谷 2000—2015 年 NDVI 变化趋势

Fig.6　NDVI trends from 2000 to 2015 in Bangkok

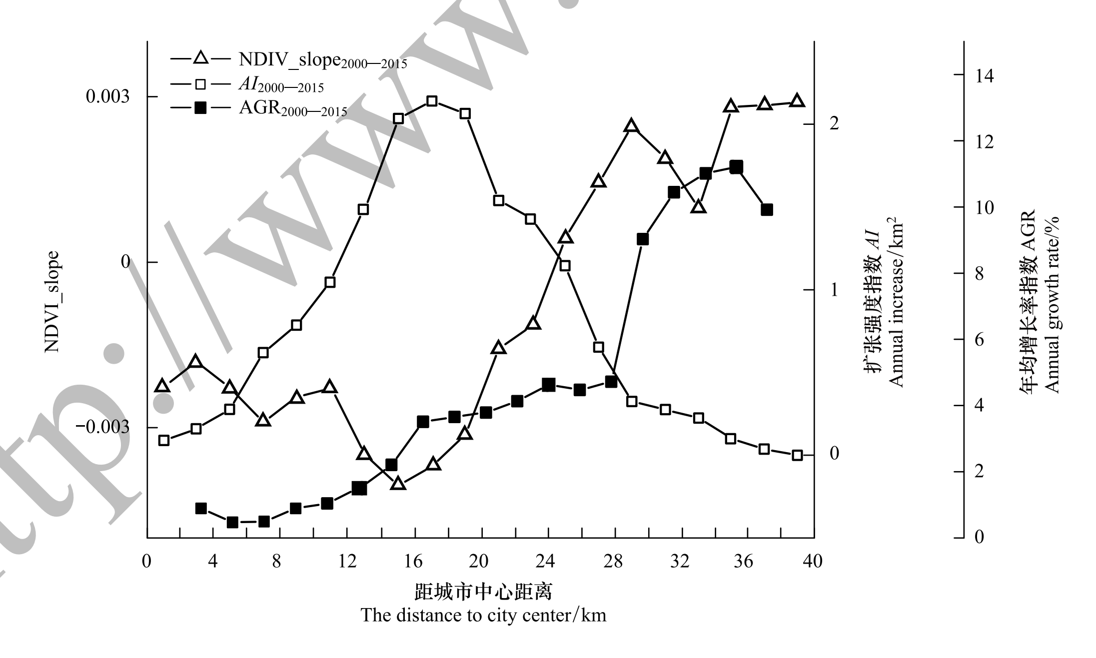


图 7　曼谷城市扩张中植被绿度与 *AI*、AGR 的变化情况

Fig.7　Variations of NDVI slope, *AI*, and AGR along the distance to city center

2.2.2　城市扩张热岛效应

对比 4 个时相的热岛空间分布图(图 8)和曼谷土地利用/覆被图(图 9),可以看出,1990 年曼谷热岛主要分布在建设用地区域和东部的裸地地区,其他 3 个时相的热岛主要分布在建设用地区域,非热岛主要分布在

水体和绿地地区。4 个时相的较强热岛和极强热岛主要分布在曼谷北郊的廊曼国际机场和曼谷南部的曼谷港口以及湄南河两侧的高密度建设用地区域。可见,曼谷的城市热岛分布与建设用地分布在空间上具有一致性。与其他 3 个时相不同,1990 年的热岛除了分布在建成区外,还主要分布在东北地区。这是由于早在 1990 年时,曼谷东北部地区以裸地为主,裸地的地表反射率较高,地表温度较高,故出现了热岛现象。1990 年东北部大面积的裸地同时导致曼谷全区热岛比例指数偏大,而到 90 年代后期,泰国政府为促进制造业和服务业的发展,决定加强农业投入[25],故在曼谷东北地区可发现,1990 年时的大片裸地到 2000 年时已变成有植被覆盖的耕地,所以 2000 年时的热岛范围明显降低、热岛比例指数明显下降,同时使城市内部高密度建成区部分的较强热岛现象更加明显。

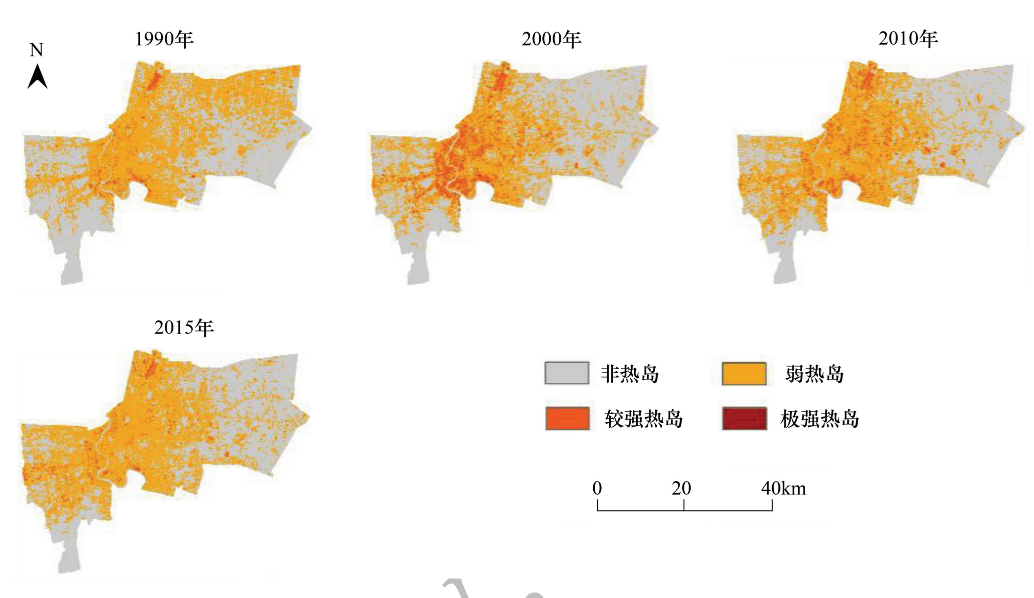


图 8 4 个时期曼谷城市热岛空间分布

Fig.8 Spatial distribution of urban heat island of Bangkok in four periods

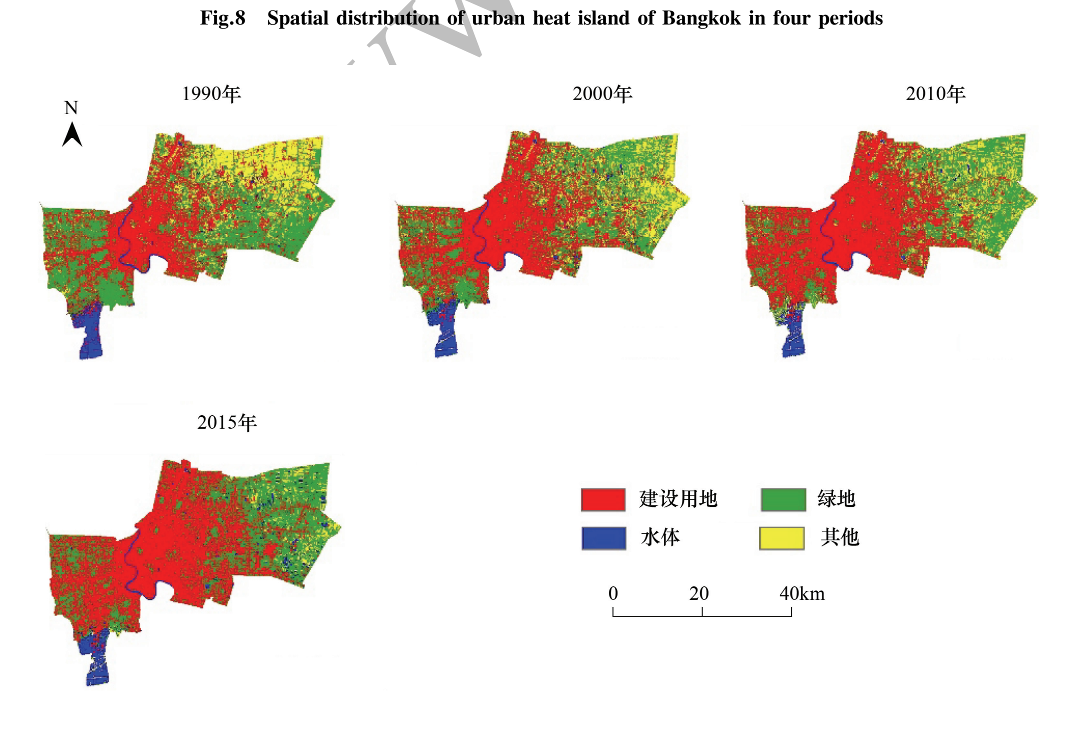


图 9 4 个时期曼谷土地利用/覆被图

Fig.9 Land cover maps in four periods in Bangkok

聚焦于 2000、2010、2015 年的热岛变化(表 3)可发现,曼谷城市热岛范围增大,热岛效应整体增强,热岛比例指数从 2000 年的 46.43%上升至 2015 年 53.15%,其中弱热岛比例指数与热岛比例指数变化趋势一致,呈逐渐上升趋势,而较强热岛和极强热岛呈下降趋势。说明在城市化进程中,城市热岛效应整体增强,但局部变异并不明显。Arifwidodo[16]的研究成果与本文的研究成果具有相似之处,即均发现曼谷城市极强热岛主要分布在高密度的建成区,且曼谷的热岛强度要比上海、旧金山等地高,海风、降水、云、土地覆盖类型、人口密度是影响城市热岛的主要因素。

2.3 城市扩张驱动力分析

曼谷城市建设用地扩张动态分析表明,自 1990 年以来,曼谷建设用地一直处于扩张阶段,各象限的城市建设用地扩张具有明显的时空差异性,其原因主要取决于曼谷的自然地理位置、社会经济条件和城市布局等。

表 3　不同等级城市热岛比例指数

Table 3　Ratio index of urban heat island for different classes

热岛等级 Heat island class	1990	2000	2010	2015
非热岛 Non-heat island/%	50.67	53.57	49.00	46.85
弱热岛 Weak heat island/%	47.18	37.73	44.85	50.36
较强热岛 Strong heat island/%	2.15	8.62	6.13	2.78
极强热岛 Extreme heat island/%	0.00	0.08	0.01	0.00
热岛 Heat island/%	49.33	46.43	51.00	53.15

(1)自然地理位置　曼谷位于湄南河三角洲地区,地势低洼。贯穿于曼谷的湄南河将市区分成东西两个部分,西岸如今被视为旧市区,城市发展缓慢;而大皇宫、曼谷港、众多工业园区、机场等均位于东岸,因此曼谷东部地区的城市化发展要快于西部。根据 Google Earth 高分辨率影像和本研究得到多时相土地利用类型空间分布图(图 9),曼谷东北部土地相对辽阔,并且以农田为主,成为城市扩张的主要方向。而曼谷南部濒临泰国湾,地势较低,陆地面积有限,城市扩展并不明显。

(2)社会经济条件　为探讨社会经济条件对城市扩张的驱动作用,本文选取城市人口、GDP 和人均 GDP 三项社会经济指标,与城市建成区面积进行相关分析(表 3)。自 20 世纪 90 年代以来,曼谷城市人口从 588.8 万上升到 927.0 万,增长了 57.44%。曼谷建设用地面积和人口呈高度正相关,相关系数为 0.97($R^2=0.95$),表明人口增长促进了城市建设用地的增长。根据曼谷经济约占泰国经济总量的 40%这一比例[25]估算曼谷 GDP,并由此计算曼谷人均 GDP,结果显示,曼谷 GDP 从 1990 年至 2014 年增长了 374.34%,人均 GDP 增长了 201.32%。曼谷城市建设用地与 GDP 和人均 GDP 均呈正相关关系,相关系数分别为 0.96($R^2=0.92$)和 0.95($R^2=0.90$)。可见,经济增长是城市建设用地扩张的驱动力之一。

表 4　曼谷建设用地面积与驱动因子的相关性

Table 4　Correlation between built-up land areas and driving force factors in Bangkok

年份 Year	城市建设用地面积/km^2 Urban built-up land areas	城市人口/($\times10^4$) Urban population	GDP/($\times10^8$现价美元) GDP($\times10^8$current dollars)	人均 GDP(现价美元) GDP per person(current dollars)
1990	406.12	588.84	341.377	5797.40
2000	556.80	636.05	505.57	7948.60
2010	689.39	821.34	1363.69	16603.35
2015	819.71	926.98	1619.30 *	17468.47
R^2	—	0.95	0.92	0.90

数据来源:城市人口数据来自 United Nations,GDP 数据来自 world Bank;因 2015 年 GDP 数据尚未公布,故用 2014 年代替;* 因 2015 年 GDP 数据尚未公布,故用 2014 年代替;—:无数据

(3)城市布局　曼谷城市建设以大皇宫为中心,最接近中心的是寺庙和政府机构,向外为商业圈,再向外是居民住宅区。城市内圈由于分布着大皇宫、寺庙等著名的旅游景点和政府机构等,经长期发展建设用地密

集,所以在近几十年来,城市中心的建设用地扩张并不明显。此外,被冠于“东方威尼斯”称号的曼谷城市水上交通十分发达,伴随着1999年运营的高架天车线路、2004年运营的地铁线路、2010年运营的机场铁路等交通线路的建设,曼谷城市土地利用模式和城市空间发生了转变[26]。从本研究新增斑块的空间分布特征可以看出,曼谷城市扩张具有分布在主要交通干线两侧的特征,尤其在中东部地区十分明显(图10)。可见,交通干线是影响城市扩张的又一驱动因素。

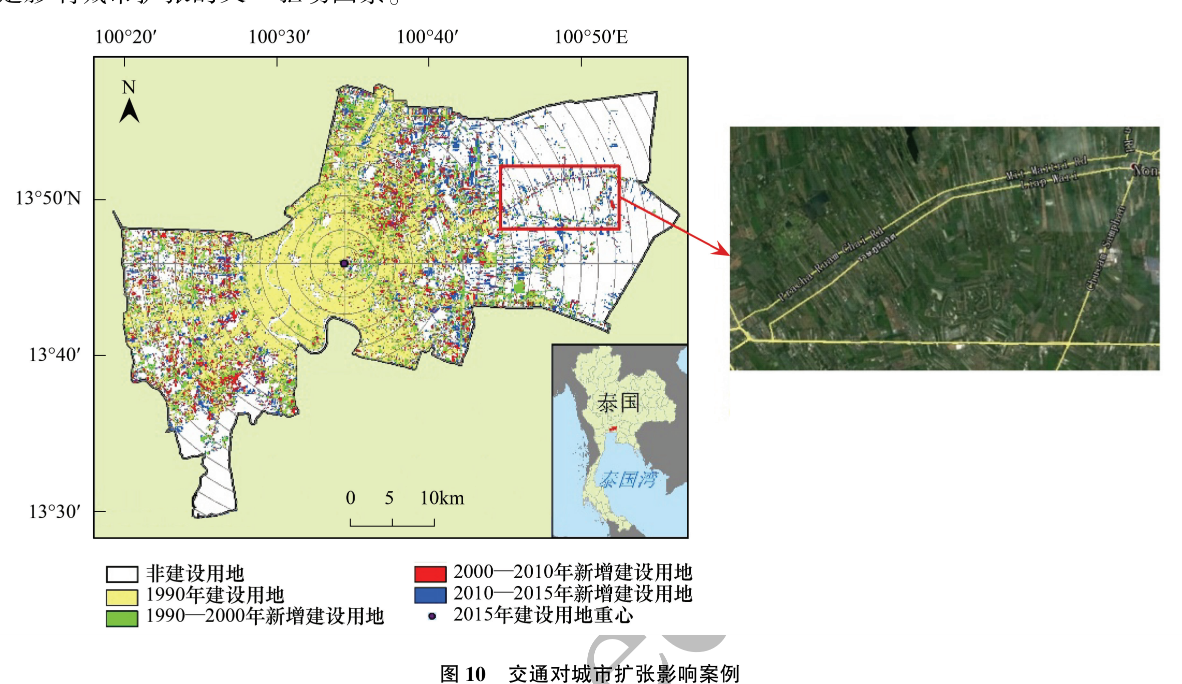


图10 交通对城市扩张影响案例

Fig.10 Case of the influence of traffic on urban expansion

3 结论与探讨

港口是城市对外开放的门户,对城市发展具有主导作用。港口在带动城市经济发展的同时,也给城市生态环境带来一些负面影响,如何协调港城经济与生态环境和谐可持续发展,已成为城市规划考虑的重要问题。作为中国-东盟自由贸易区、中国-中南半岛经济走廊、21世纪海上丝绸之路重要节点城市,曼谷具有不可替代的国际战略地位和交通枢纽作用,位于其境内的曼谷港作为泰国最大的港口,对曼谷城市发展起到巨大的推动作用。本文利用多时相Landsat和MODIS遥感数据对曼谷城市扩张生态环境效应进行了研究,结果表明自20世纪90年代以来,曼谷城市建设用地面积持续增长,经历了先快速后缓慢而后又快速增长的过程。曼谷城市扩张主要沿东北方向和城市外缘方向,城市扩张模式以边缘式和填充式为主。在城市化进程中,植被绿度整体呈下降趋势,退化明显的地区与建成区扩张显著的地区相吻合;热岛分布与建成区分布也具有空间一致性,呈整体增强趋势。通过本研究分析得出,曼谷的社会经济、自然地理条件、城市布局等对城市扩张具有重要影响。

与曼谷相似,我国港口城市(如广州、上海、厦门、烟台、大连、天津等)建设用地扩张主要以占用耕地为代价,导致农业用地丧失。同时城市化加大了粮食需求,又使部分耕地受到污染,从而激化了人地矛盾[24,27-29]。建设用地扩张是人类活动对自然土地进行干扰的最强烈的方式,具有不可逆性,须通过制定土地利用总体规划,合理利用土地和保护耕地,提高耕地质量,保持城市化与粮食供应平衡。

曼谷早期城市发展缺乏合理规划,产生了城市功能区划混乱、交通堵塞、环境污染、人口过度膨胀等问题。面对这些问题,曼谷采取了一系列的措施,如在城市外围修建住房、建立二级城镇、在次发展地区发展工业、改善配套设施、兴建交通道路等;此外还通过严格控制车辆数量和机动车燃油质量降低汽车尾气带来的空气污染;通过将城市中心固体垃圾运往老港填埋以减少城市环境污染等。在诸多政策的引导下,曼谷城市中心的

周边形成了多个城市次中心,如今的曼谷城市早已突破行政界线,发展成为以“曼谷中心城市、曼谷大都市、曼谷都市圈”为核心的特大城市群。该城市群具有强大的辐射能力,凸显出巨大的经济创造力和潜力。随着“21 世纪海上丝绸之路”战略实施,我国沿海城市和港口(如上海、广州、福州、宁波、深圳、海口等)正在做出积极响应,试图从政策、交通、贸易、科技等方面进行改革[30-31]。如广东省政府颁布《广东省参与建设“一带一路”的实施方案》,欲将广东打造成为战略交通枢纽[30],宁波市发改委制定《宁波参与“一带一路”建设行动纲要》,积极建设宁波港口经济圈[32]等。其中,加强港口及腹地群的建设成为主要措施。相比于内陆城市,港口城市具有优越的地理位置,但由于受海岸线的辖制,土地资源十分珍贵。在城市规划中,国内城市或可汲取曼谷城市发展的经验教训,在以港口为依托,打造以港口、港区为核心的产业集聚区的基础上,通过优化配置城市土地利用结构,合理布置交通网络体系,努力提高港口对经济腹地的辐射带动作用和核心城市对区域小城市的带动作用,打造共同繁荣的港口群和城市群。

总之,曼谷城市化不仅导致城市植被绿度降低、地表温度升高等生态环境问题,同时过度城市化也带来了住房拥挤、交通拥挤、基础设施不足、失业率高等社会问题,这种“虚假城市化”的现象应引起所有发展中国家重视。基于曼谷虚假城市化和城市首位度畸高的教训,我国港口城市应充分重视城市化和社会经济的同步发展,重视核心港口、城市与区域小港口、小城市的共同发展,在提高港口群、城市群的经济创造能力和辐射带动能力时,也应避免出现类似于曼谷首位度畸高、区域发展不平衡等问题。

参考文献(References):

[1] Seto K C, Fragkias M, Güneralp B, Reilly M K. A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion. PLoS ONE, 2011, 6(8): e23777.

[2] Zhao S Q, Zhou D C, Zhu C, Sun Y, Wu W J, Liu S G. Spatial and temporal dimensions of urban expansion in China. Environmental Science & Technology, 2015, 49(16): 9600-9609.

[3] Mertes C M, Schneider A, Sulla-Menashe D, Tatem A J, Tan B. Detecting change in urban areas at continental scales with MODIS data. Remote Sensing of Environment, 2015, 158: 331-347.

[4] 匡文慧, 迟文峰, 史文娇. 中国与美国大都市区城市内部土地覆盖结构时空差异. 地理学报, 2014, 69(7): 883-895.

[5] Wu W J, Zhao S Q, Zhu C, Jiang J L. A comparative study of urban expansion in Beijing, Tianjin and Shijiazhuang over the past three decades. Landscape and Urban Planning, 2015, 134: 93-106.

[6] 裴凤松, 黎夏, 刘小平, 夏庚瑞. 城市扩张驱动下植被净第一性生产力动态模拟研究——以广东省为例. 地球信息科学学报, 2015, 17(4): 469-477.

[7] Seto K C, Guneralp B, Hutyra L R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2012, 109(40): 16083-16088.

[8] Bounoua L, Zhang P, Mostovoy G, Thome K, Masek J, Imhoff M, Shepherd M, Quattrochi D, Santanello J, Silva J, Wolfe R, Toure A M. Impact of urbanization on US surface climate. Environmental Research Letters, 2015, 10: 084010.

[9] Fan P L, Chen J Q, John R. Urbanization and environmental change during the economic transition on the Mongolian Plateau: Hohhot and Ulaanbaatar. Environmental Research, 2015, 144: 96-112.

[10] Du N R, Ottens H, Sliuzas R. Spatial impact of urban expansion on surface water bodies—A case study of Wuhan, China. Landscape and Urban Planning, 2010, 94(3/4): 175-185.

[11] Yan Y, Kuang W H, Zhang C, Chen C B. Impacts of impervious surface expansion on soil organic carbon—a spatially explicit study. Scientific Reports, 2015, 5: 17905.

[12] 罗上华, 毛齐正, 马克明, 邬建国. 城市土壤碳循环与碳固持研究综述. 生态学报, 2012, 32(22): 7177-7189.

[13] Estoque R C, Murayama Y. Intensity and spatial pattern of urban land changes in the megacities of Southeast Asia. Land Use Policy, 2015, 48: 213-222.

[14] 宋伟轩, 朱喜钢. 大湄公河次区域城市空间结构特征与成因. 经济地理, 2010, 30(1): 53-58.

[15] United Nations. World urbanization prospects: the 2014 revision. New York: United Nations Publication, 2014.

[16] Arifwidodo S D, Tanaka T. The characteristics of urban heat island in Bangkok, Thailand. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2015, 195: 423-428.

[17] 王翠平, 王豪伟, 李春明, 董仁才. 基于 DMSP/OLS 影像的我国主要城市群空间扩张特征分析. 生态学报, 2012, 32(3): 942-954.

[18] Liu X P, Li X, Chen Y M, Tan Z Z, Li S Y, Ai B. A new landscape index for quantifying urban expansion using multi-temporal remotely sensed

data. Landscape Ecology, 2010, 25(5): 671-682.

[19] Xu C, Liu M S, Zhang C, An S Q, Yu W, Chen J M. The spatiotemporal dynamics of rapid urban growth in the Nanjing metropolitan region of China. Landscape Ecology, 2007, 22(6): 925-937.

[20] 覃志豪, Zhang M H, Arnon K, Pedro B. 用陆地卫星 TM6 数据演算地表温度的单窗算法. 地理学报, 2001, 56(4): 456-466.

[21] 覃志豪, 李文娟, 徐斌, 陈仲新, 刘佳. 陆地卫星 TM6 波段范围内地表比辐射率的估计. 国土资源遥感, 2004, (3): 28-32, 36-36, 41-41.

[22] Rozenstein O, Qin Z H, Derimian Y, Karnieli A. Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm. Sensors (Basel), 2014, 14(4): 5768-5780.

[23] 张勇, 余涛, 顾行发, 张玉香, 陈良富, 余姗姗, 张文君, 李小文. CBERS-02 IRMSS 热红外数据地表温度反演及其在城市热岛效应定量化分析中的应用. 遥感学报, 2006, 10(5): 789-797.

[24] 缪丽娟, 崔雪锋, 栾一博, 何斌. 北京上海近 20a 城市化过程中土地利用变化异同点探析. 气象科学, 2011, 31(4): 398-404.

[25] 中华人民共和国商务部网站. [2016-07-16]. http://th.mofcom.gov.cn/.

[26] 纪雁, 沙永杰. 曼谷: 迈向可持续和包容性发展面临的挑战. 上海城市规划, 2015, (3): 61-67, 93-93.

[27] 吝涛, 李新虎, 张国钦, 赵千钧, 崔胜辉. 厦门岛城市空间扩张特征及其影响因素分析. 地理学报, 2010, 65(6): 715-726.

[28] 高义, 苏奋振, 孙晓宇, 杨晓梅, 薛振山, 张丹丹. 近 20a 广东省海岛海岸带土地利用变化及驱动力分析. 海洋学报, 2011, 33(4): 95-103.

[29] 孟林. 城市化背景下土地利用变化及其生态环境质量评价——以环渤海沿海城市为例[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2012.

[30] 邹伟勇, 金祎, 熊晓冬. 广东建设“21 世纪海上丝绸之路”战略枢纽的交通协同策略. 规划师, 2016, 32(2): 38-45.

[31] 刘宗义. 21 世纪海上丝绸之路建设与我国沿海城市和港口的发展. 城市观察, 2014, 34(6): 5-12.

[32] 徐莹, 董文娟, 张雪梅. “一带一路”战略下宁波港拓展中西部腹地策略研究. 华东交通大学学报, 2015, 32(6): 143-152.

